

文章编号: 1001-1986(2003)04-0038-03

井壁破裂与矸的徐变破坏

杨为民, 周治安 (安徽理工大学资源与环境工程系, 安徽 淮南 232001)

摘要: 黄淮地区煤矿井壁破裂大都是由于厚松散覆盖层底部含水层失水固结, 地层沉降, 导致井壁外侧出现负摩阻力, 从而在竖井轴向上形成附加的下拉荷载而引起。这些破裂始见于保护层矸的剥落, 而后见壁中矸发育密集的竖直砂浆裂隙, 矸中骨料因界面裂隙的发育而被剥离, 矸向井内膨胀并呈现“假塑性”等。除这些特征外, 从负摩阻力的出现及增荷过程来看, 井壁破裂是在轴向高压应力长时间作用下的结果, 它涉及的是井壁矸的长期强度, 故井壁破裂属于矸徐变破坏。

关键词: 矸; 徐变; 井壁破裂; 负摩阻力

中图分类号: TD352 **文献标识码:** A

1 引言

近 20 年来, 黄淮地区有 40 多个竖井发生井壁破裂。除其中几个井壁破损原因特殊外, 其余约有 90% 的井壁破裂是因厚松散覆盖层底部含水层(简称底含)疏排水引起土层固结沉降, 井壁出现负摩阻力, 在底含及相邻层井段上形成轴向高压应力导致井壁破裂。本文仅就因负摩阻力产生的井壁破裂特征进行讨论。

2 井壁破裂细观特征

这类破裂井中, 除一个是料石砌块覆素矸井壁外, 其他都是矸结构井壁, 其中包括单层、双层或复合并壁及地面预制井壁。这些矸结构井壁都有基本相同的破裂特征, 即除了内侧保护层矸以片状剥落、掉块为其破坏形式外, 井壁的主体部分——壁中矸是因密集发育的微裂隙损伤发展而造成酥碎破坏。具体破坏情况如下:

2.1 保护层矸剥落破坏

井壁内缘侧向净空, 主要为轴向受力状态, 井壁破裂是由保护层矸“掉皮”、“炸皮”开始, 起先剥裂厚度很小, < 50 mm; 随后剥落逐渐加深, 片厚增大, 发展成剥大片带大块, 厚度可达 150~250 mm, 最大达 300 mm, 但片的边缘多较薄, 呈刀刃状; 同时剥落带沿壁面侧向扩展。剥裂面多平整且大体平行于井壁表面, 它将所遇到的矸中的骨料(石子)如刀削般地劈开, 有的骨料是鲕状灰岩, 其中沉积鲕粒结构也被劈开。剥裂面上有清晰的擦痕和阶步, 与地质构造中擦痕和阶步完全相同, 擦痕与井轴线一致, 阶步与

其垂直。据此可判断裂隙面相对错移方向, 并表明在破裂处保护层不仅轴向受压, 而且伴有纵弯滑作用^[1]。原位剥下的片状矸块一般仍较完整, 并有一定的强度。在较厚的剥落块内, 往往都含有与剥面平行的一组剪裂面, 面间距多为 20~30 mm 左右。

2.2 钢筋变形

随着井壁保护层矸剥裂加深, 局部竖筋、环筋开始露出, 钢筋往往沿与砂浆的接触面脱开, 矸剥块上可见螺纹钢筋清晰印痕, 竖筋初露时一般平直, 或微微弯向井内, 随着竖向挤压及壁中矸向井内横向膨胀变形, 竖筋在双向力作用下, 先成弓弯状, 进而可成折弯状、杯把状、倒杯把状, 个别井见竖筋折断。环筋因受竖筋牵扯和壁中矸侧向变形推挤, 呈上、下扭曲, 筋间距移近, 部分环筋向井内屈曲, 并有结扎松脱等现象。

2.3 壁中矸微裂隙密集发育呈酥碎破坏

随井壁破裂加深, 井壁矸的主体部分——壁中矸便暴露出来, 细观新鲜裂面可发现壁中矸砂浆由于大量密集竖向微裂隙的发育而呈“千层糕”样, 裂隙密度一般为 5~6 条/cm, 约是保护层裂隙密度十倍以上。如用力挤压、铲刮或凿取, 矸就会碎成渣屑状, 渣屑中含一些 2~5 mm 大小的碎块, 碎块上一般都有 2~3 个平行且平整的裂隙面, 说明砂浆先被裂隙分割成微劈石, 而后被压碎。矸渣屑的成分几乎全为砂浆, 骨料都完整保存在砂浆渣屑之中。作为井壁矸的主体, 壁中矸由于受到保护层及钢筋网的约束, 在剥开之前它是双向受压, 但在接近破坏前, 其荷载条件是: 轴应力 σ 远远大于侧向应力, 早就是井壁最大主应力。受这种荷载长时间作用, 在

收稿日期: 2003-01-07

作者简介: 杨为民(1965—), 男, 安徽庐江人, 安徽理工大学博士, 副教授, 从事工程地质、岩土工程方面的教学和科研工作。

砼的骨料与砂浆间先形成界面裂隙^[2],进而砂浆裂隙大量发育;当两种裂隙联合成宏观裂隙,就造成破坏。

2.4 井壁破裂趋于闭合成环

由于井壁负摩阻力、总轴力呈轴对称分布,在纵向上,总轴力的峰值应力在井壁上必然沿水平周圈分布。在该周圈上某薄弱点或应力集中点一旦出现破裂,必然引起周圈相邻点或周圈其他点应力更集中,破裂就沿着周圈扩展开来,因此由负摩阻力引起的井壁破裂具有闭合成水平环状的发展趋势。

3 井壁破裂是砼徐变破坏

井壁的受力状况及上述细观特征显示,井壁砼破裂属于高压应力作用下砼徐变破坏。为确定此种性质的破坏,关键还要看井壁轴压力的增荷过程及持荷破坏时间的长短。

3.1 井壁轴压力增荷过程很长

破裂井壁上轴向高压应力是来自底含失水固结,地层沉降,地层相对井壁向下运动时在特定井段上形成的负摩阻力,它具体表现为轴压应力随时间的增长。据建井资料及矿区测量资料^[3~7],各破裂井筒的底含水位降及地面沉降都是一个历时多年的持续过程,与此同时,井壁轴压力的增荷也是一个月增年累的长过程。图1为大屯龙东风井井壁应力测量结果,它清楚显示井壁轴应力的增荷特征。该井的垂深194.8 m处,测得砼井壁竖筋应力平均值在3.5 a时间内持续增荷6.12倍,增荷速率约为每月4.58 MPa。

如将各井筒竣工时间视为该井筒因底含水头下降,地层沉降,井壁出现负摩阻力的起始时刻,那么至该井发生破裂的时刻,两者相隔的时间就是该井轴压应力从开始增荷至达到破坏应力的时间过程。在近40个这类破裂井中,最短历时为4.5~5 a,其中有:龙东主井、张双楼主副井、海孜副井、童亭主井,而最长历时达17~18 a。

3.2 井壁宏观破坏时程有长有短

井壁砼徐变破坏始于微裂隙的发展,这个起始阶段在现场用肉眼很难发现。1987年7月至11月间黄淮地区有8个井壁先后破裂,于是井壁的安全检查受到格外重视,通过反复观察,一些井记录下井壁破坏的宏观发展过程。

井壁由发现保护层砼“掉皮”、“炸皮”等轻微破坏现象起,到井壁砼剥落面积增大→露筋→竖筋压弯→有些井破裂交圈、井壁严重破坏,这个过程各井不同,有的历时1 a,最久的前后间隔达4 a(孔庄风

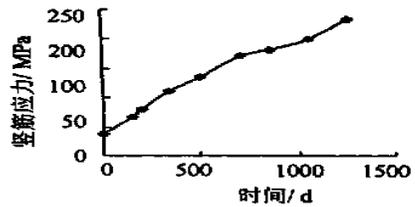


图1 大屯龙东风井处井壁竖筋应力随时间增长曲线
注:井深194.8 m,1982-10-30~1986-10-30

井)。也有的发展较快,以小时至周计。张双楼副井从井壁砼开始大片剥落到形成剥落环带,历时约1 d。临涣副井从听到井壁砼爆裂响声半小时后即形成环状剥落。童亭副井垂深230.8 m处是严重破坏部位,它从掉皮演变为全周剥落历时3个半月。童亭主井,在初见井壁轻微“掉皮”4个月后,1991年8月30日下午16时,井内突发巨响,2 h后检查发现,在垂深240.8~242.8 m紧贴41节与42节井壁接茬法兰盘处,形成全周严重环带破裂,环带内钢筋全露,竖筋全弯向井内,多呈底平的倒杯把状。保护层砼掉块,壁中砼被密集的砂浆裂隙、界面裂隙剪裂压酥,并挤向井内,在砼的渣屑中骨料完整保存。该井壁宏观破坏发展极快,仅用1 h左右时间。但壁中砼微裂隙同样发育充分,说明宏观破裂前该井壁中砼已在高应力作用下,经历较长时间的徐变过程,最终表现为典型的徐变加速破坏。

大量试验证实^[8~10],砼长时间(数小时至数十天或更久)处在高应力作用下,发生徐变的重要原因是砼内部微裂隙由少增多,由稀变密,应力应变之间非线性程度越来越高,随着徐变的发展,砼内部的砂浆裂隙和界面裂隙沿垂直于压缩荷载方向迅速扩展,使材料损伤劣化导致徐变破坏。实见破裂井壁的裂隙发育特征与徐变破坏完全符合。在徐变过程中,正是由于裂隙的扩展和聚合,使砼表现出“假塑性”,破坏前泊松比一般增加46.7%~112.4%^[8]。由于井壁砼较大的侧向徐变使行将破裂部位的保护层砼沿裂隙弯滑片剥、掉块,接着使竖筋内弯,并进而将壁中砼压酥、压碎挤向井内。

3.3 破裂时轴应力水平和应变水平

井壁破裂是砼徐变破坏,因此破裂时的应力水平与井壁砼的长期强度有关。迄今有关井壁砼抗压强度的试验^[11],几乎未考虑井壁长期受高应力作用的时间因素。一般采用砼的立方体或长方棱柱体试块强度试验获得瞬时强度。

有关砼徐变试验资料表明^[2,8~11]:当应力水平高于瞬时抗压强度 f_c 的50%时,应力应变之间开始出现非线性变化。在应力水平为 f_c 的40%~80%

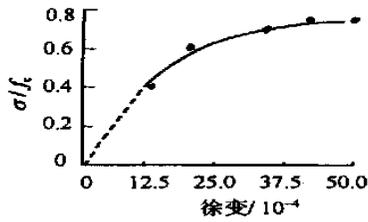


图 2 长期荷载下应力比与徐变之间的关系^[9]

时,界面裂隙开始出现并大量发育。在应力水平高于 f_c 的 80% 时,砗可从等速徐变发展为加速徐变。徐变速率随时间不断增大,最后导致徐变破坏,同时伴有较高的侧向徐变。就微观特征而言,在应力水平高于 f_c 的 80% 时,砗内的砂浆裂隙大量出现并迅速增长,同时界面裂隙也快速增长,并产生由砂浆裂隙和界面裂隙联合形成的宏观裂缝,从而造成破坏。当应力增至 f_c 的 80%~95%,在此区间内,应力水平越高,徐变速率越快,达到破坏所需的时间越短;当应力增至 f_c 的 95% 时,破坏就很快发生。而当试件承受低于瞬时强度 f_c 的 80% 的长期应力作用时,徐变最终处于稳定,试件一般不会发生徐变破坏。故往往将 $0.8 f_c$ 视为砗的长期强度。图 2 表示了在不同应力水平 (σ/f_c) 下,持荷 60 d 砗的徐变^[9],在 σ 接近 $0.8 f_c$ 时,最大徐变可达 5×10^{-3} ,它远大于短期荷载作用下由棱柱体试验所得的极限应变量 ($\epsilon < 2 \times 10^{-3}$)。

井壁破裂是属变应力作用下的徐变破坏,它遵循徐变损伤迭加规律^[2],应力水平的加大可使破裂前的徐变速率变得更快。

4 结语

黄淮厚松散覆盖层分布地区,部分煤矿竖井由于底含持续失水固结,其上地层沉降,在相应井段上产生向下的负摩阻力,使井壁总轴力逐渐增大到井壁破裂时的应力水平,这个过程一般需数年至数十年的时间。在负摩阻力形成的高轴向压应力长时间

作用下,井壁出现破裂,据井壁应力及实见的壁中砗破裂特征分析,它属于砗徐变破坏;砗内发育密集的竖直砂浆裂隙,骨料因界面裂隙发育而被剥离,并保存在砂浆渣屑之中;较高的侧向徐变推动了井壁侧向变形并使砗呈现“假塑性”等。各井壁破裂的发展,在时间上有快有慢,据徐变破坏规律推测:在达到井壁砗长期强度条件下,各破裂井实际承受的应力水平并非完全相同,因而造成徐变破坏的速率有快有慢,应力水平越高,破裂发展越快。总之,由负摩阻力产生的井壁破裂涉及砗的长期强度问题,在充分掌握井壁破裂实际资料基础上,开展井壁砗徐变试验研究,可为井壁破裂预防、预测和治理,提供关键性参量和开拓新的方向。

参考文献

- [1] 徐开礼,朱志澄·构造地质学[M].北京:地质出版社,1987.
- [2] 李兆霞,钱济成·混凝土徐变损伤演变方程及其在非线性徐变理论中的应用[J].河海大学学报,1989,117(2):26-34.
- [3] 黄定华,喻怀君,马嘉荣等·临涣矿区地表沉降对井壁的影响[J].煤炭科学技术,1991(7):43-47.
- [4] 虞咸祥·大屯矿区立井井壁断裂原因分析[J].煤炭科学技术,1991,(6):41-45.
- [5] 张忠华·立井表土段井壁破裂原因分析[J].煤炭科学技术,1992,(2):43-44.
- [6] 李绍春,张震·鲍店煤矿井壁破坏及其综合治理[J].建井技术,1999,20(2):35-38.
- [7] 席京德,许延春,官云章·兴隆庄矿主副井筒破坏预防性治理的研究与经验[J].建井技术,1999,20(1):27-29.
- [8] 李兆霞·高压应力作用下混凝土的徐变和徐变破坏[J].河海大学学报,1988,17(1):105-108.
- [9] Smadi M M, Slate F O, Nilson A H·Time-dependent behavior of high-strength concrete under high sustained compressive stresses [R]. New York: Dept. of Structure Engineering School of Civil and Environmental Engineering, Cornell Univ. Report No. 82-16, 1982.
- [10] Piechnik S, Pachla H·The continuous field of damage and its influence on the creep process in concrete under tensile loading [A]. IU-TAM 3rd Symposium on Creep in Structures [C]. 1980, 202-219.
- [11] 杨俊杰·混凝土结构井壁的破坏特征和强度特征[J].煤炭学报,1998,23(3):246-251.

The sidewall fracture of the shaft and the creep of concrete

YANG Wei-min, ZHOU Zhi-an (Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In coal mines of Huang-Huai region, the sidewall fracture is basically induced by axial additional loading downwards to the shaft, which is brought about by negative skin friction outside of the sidewall due to the drain consolidation of the aquifer at the bottom of the deep loose overburden layer and the settlement of the strata. The fracture begins from the flake of the sidewall concrete. With the axial loading increasing, the perpendicular closely spaced sand-slurry fissures in the concrete of the shaft growth, the aggregates of the concrete are peeled off as a result of interfacial fissures, and then the concrete dilate to the inner of the shaft and the deformation shows the phenomena of “pseudo-plastic”. Besides these properties above, the fracture of the sidewall results from axial high compressive stress for a long time in view of the negative skin friction and the process of loading increasing.

Key words: concrete; creep; sidewall fracture; negative skin friction of the shaft